Iranian Plant Protection Research

https://jpp.um.ac.ir

Research Article
Vol. 39, No. 1, 2025, p. 97-114

Competitive Effects of Wild Mustard (*Sinapis arvensis* L.) on Chickpea (*Cicer arietinum* L.) Yield and its Components under Water-Deficit Stress Conditions

A. Yavari Ghavitool[1], V. Sarabi[2*], K. Azizpour[3]

1, 2 and 3- Department of Agronomy and Plant Breeding, Faculty of Agriculture, Azarbaijan Shahid Madani University, Tabriz, Iran, respectively.
(*- Corresponding author's Email: Sarabi20@azaruniv.ac.ir)

Received: 14-08-2024 Revised: 12-11-2024 Accepted: 23-11-2024 Available Online: 29-04-2025	**How to cite this article:** Yavari Ghavitool, A., Sarabi, V., & Azizpour, K. (2024). Competitive effects of wild mustard (*Sinapis arvensis* L.) on chickpea (*Cicer arietinum* L.) yield and its components under water-deficit stress conditions. *Iranian Plant Protection Research*, *39*(1), 97-114. (In Persian with English abstract) https://doi.org/10.22067/jpp.2024.89385.1202

Introduction

As the third crop among beans in the world and the first crop in West Asia and North Africa, chickpea is an important grain crop. Chickpea (*Cicer arietinum* L.) seeds are a rich source of protein (15 to 25 percent) and essential amino acids such as lysine that has high nutritional value. Among the important problems of chickpea cultivation, we can mention the water-deficit stress and weeds especially at the high densities. Water deficit-stress has a negative effect on crops during their life cycle and causes losses and decrease in their yield. Weeds are considered as competitors of agricultural plants and cause their yield loss, so if they are not controlled, the yield of crops will decrease between 10 to 100% depending on the competitive ability of the weed species. Therefore, the aim of this study was to investigate the the response of chickpea to these stresses and determine the threshold of economic yield loss caused by them in chickpea.

Materials and Methods

Considering the limitation of water resources and the problems caused by weed competition, the morphological characteristics, yield and its components were investigated in chickpea under condition of water shortage and wild mustard (*Sinapis arvensis* L.) competition. Experiment was conducted as a split plot based on randomized complete block design with three replications at research farm, Ministry of Agriculture Jihad, Kalibar-Iran in 2021. Factors were irrigation regimes (irrigation at the 55%, 35% and 10% of total available soil water content) as the main plot and wild mustard density (0, 5, 10, and 15 plants m^{-2}) as the subplot. At the end of the growing season, when the chickpea pods fully ripened and turned yellow, the morphological traits, yield and its components were measured in the cultivated chickpea plants. All data were subjected to an analysis of variance using the PROC GLM by slicing interactions in Minitab ver. 17.0 and SAS ver. 9.2.0 statistical softwares. The assumption of the variance analysis was tested by ensuring that the residuals were random, homogeneous, and with a normal distribution about a mean of zero using residual plots and the Anderson-Darling test. The LSD test was used at a probability level of 0.05 to compare main effects or interactions (after

https://doi.org/10.22067/jpp.2024.89385.1202

slicing).

Results and Discussion

The results showed that water-deficit stress reduces the morphological traits, yield and its components of cultivated chickpea due to its effect on various processes including photosynthesis, and high densities of wild mustard due to intense competition with chickpea plants in receiving water and nutrients, and further by shading on chickpea plants. Ineraction effects revealed that the main root length, number of secondary roots, dry weight of roots, height, number of secondary stems, number of pods per plant, number of seeds per plant, 100-seed weight, biological yield, seed yield and harvest index in chickpea are greatly reduced under the severe water-deficit stress condition and high weed densities. Morphological traits in field chickpea were less affected by increasing the wild mustard density under water-deficit stress conditions compared to yield and its components. As mentioned, the yield of cultivated chickpea decreased under water stress conditions and wild mustard competition, especially at high densities. The greatest reduction was observed after depleting 90% of the available water capacity in the soil at the 15 wild mustard plants per m^2 (202 $kg.ha^{-1}$), so that in this treatment seed yield was reduced by 91.39% compared to the control treatment under field capacity condition. The main reason for this can be the reduction of photosynthetic efficiency in the conditions of water-deficit stress and high weed density during the growing season, especially during flowering and seed formation, along with the effective competition of weeds to obtain environmental resources such as light, water, nutrients and even CO_2. These factors have caused a decrease in the 100-seed weight and finally a decrease in the seed yield in cultivated chickpea significantly.

Conclusions

Therefore, it is necessary to prevent the occurrence of severe water-deficit stress conditions in the soil and the presence of wild mustard especially at the high densities in sensitive phenological growth stages in order to prevent a noticeable yield loss. In addition, control approaches should be taken against this weed species from its low densities, which is more important in the water-deficit stress conditions in the soil.

Keywords: Beans, Growth characteristics, Seed yield, Water-deficit stress, Weed density

پژوهش‌های حفاظت گیاهان ایران
https://jpp.um.ac.ir

مقاله پژوهشی
جلد ۳۹ شماره ۱، بهار ۱۴۰۴، ص. ۱۱۴-۹۷

اثرات رقابتی خردل وحشی (*Sinapis arvensis* L.) بر عملکرد و اجزاء عملکرد نخود (*Cicer arietinum* L.) تحت شرایط تنش کم‌آبی

افسانه یاوری قویطول[۱] - وحید سرابی[۲*] - کامبیز عزیزپور[۳]

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۵/۲۴
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۹/۰۳

چکیده

با توجه به محدودیت منابع آبی کشور و مشکلات ناشی از رقابت علف‌های هرز در زراعت نخود (*Cicer arietinum* L.)، خصوصیات مورفولوژیک، عملکرد و اجزاء عملکرد نخود در مزرعه تحقیقاتی جهاد کشاورزی شهرستان کلیبر در سال ۱۴۰۰ مورد بررسی قرار گرفت. پژوهش حاضر به‌صورت کرت‌های خرد شده بر پایه طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار اجرا شد. عامل اصلی، تنش کم‌آبی در سه سطح (آبیاری در حد ظرفیت زراعی، آبیاری در زمان ۶۵ درصد تخلیه رطوبتی خاک و آبیاری در زمان ۹۰ درصد تخلیه رطوبتی خاک) و عامل فرعی، تراکم‌های خردل وحشی (*Sinapis arvensis* L.) (صفر، ۵، ۱۰ و ۱۵ بوته در مترمربع) بود. بدین منظور، بذور علف هرز در تراکم بسیار بالا در کرت‌های آزمایشی پخش شده و پس از رسیدن به ارتفاع پنج سانتی‌متری، برای رسیدن به تراکم‌های دلخواه تنک شدند. نتایج نشان داد که تنش کم‌آبی (۶۵ درصد و ۹۰ درصد تخلیه رطوبتی در خاک) با تأثیر بر فرآیندهای مختلف گیاهی و تراکم‌های بالای علف هرز خردل وحشی (۱۰ و ۱۵ بوته در مترمربع) به‌واسطه رقابت شدید با نخود برای دریافت آب و عناصر غذایی و در ادامه با سایه‌اندازی بر بوته‌های نخود موجب کاهش صفات مورفولوژیک، عملکرد و اجزاء آن در نخود شدند. اثر متقابل تراکم علف هرز خردل وحشی در هر یک از تیمارهای تنش کم‌آبی نشان داد که صفات مورفولوژیک، تعداد غلاف در بوته، تعداد دانه در بوته، وزن ۱۰۰ دانه، عملکرد بیولوژیک، عملکرد دانه و شاخص برداشت تحت تأثیر تنش شدید کم‌آبی و تراکم‌های بالای علف هرزی، کاهش شدیدی یافتند. کمترین عملکرد دانه نخود (۲۰۲ کیلوگرم در هکتار) پس از ۹۰ درصد تخلیه رطوبتی در خاک و با حضور ۱۵ بوته خردل وحشی در هر مترمربع به‌دست آمد، به‌طوری‌که در این تیمار عملکرد دانه نسبت به شاهد تحت شرایط ظرفیت زراعی ۹۱/۳۹ درصد کاهش یافت. ازاین‌رو، باید از بروز تنش شدید کم‌آبی و تداوم حضور علف هرز خردل وحشی در تراکم‌های بالا به‌خصوص در مراحل حساس فنولوژیکی در زراعت این محصول جلوگیری کرد تا از کاهش محسوس عملکرد نخود ممانعت به‌عمل آید.

واژه‌های کلیدی: بقولات، تراکم علف هرز، تنش کم‌آبی، عملکرد دانه، ویژگی‌های رشدی

مقدمه

نخود (*Cicer arietinum* L.) دومین حبوبات غذایی مهم در جهان است که عمدتاً در مناطق گرمسیری خشک و نیمه‌خشک جهان کشت و مصرف می‌شود (Varshney *et al.*, 2014). بر طبق مطالعات پیشین، سطح برداشت نخود در جهان حدود ۱۵ میلیون هکتار برآورد شده است (FAOSTAT, 2022). دانه نخود با برخورداری از ۱۵ تا ۲۵ درصد پروتئین، غنی از اسیدهای آمینه ضروری نظیر لیزین بوده و نقش مهمی در رژیم غذایی مناطق محروم به‌عنوان منبع مناسبی از پروتئین باکیفیت بالا ایفا می‌کند (Jukanti *et al.*, 2012). چین (با ۵/۵ تن در هکتار) بزرگ‌ترین کشور تولیدکننده نخود است. سایر کشورهای عمده تولیدکننده نخود شامل اردن، سودان، مولداوی و بوسنی هستند (FAOSTAT, 2022).

۱، ۲ و ۳- گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید مدنی آذربایجان، تبریز، ایران
(*- نویسنده مسئول: Email: Sarabi20@azaruniv.ac.ir)
https://doi.org/10.22067/jpp.2024.89385.1202

بااین‌وجود، تولید نخود در اکثر کشورها کمتر از میزان تقاضا است و این شکاف با رشد جمعیت در حال افزایش است.

با توجه به تغییرات اقلیمی در ایران و جهان و کاهش چشمگیر میزان بارندگی‌ها و به دنبال آن، وقوع تنش کم‌آبی که تهدید بزرگی در جهت تولید محصولات کشاورزی است، گیاه نخود نیز از این امر مستثنی نیست. تنش کم‌آبی با اثرات منفی موجب تلفات و کاهش عملکرد محصولات زراعی می‌شود که میزان کاهش به مدت و شدت تنش بستگی دارد و می‌تواند از حد متوسط تا شدید موجب کاهش زیست‌توده گیاهی، عملکرد دانه و اجزاء عملکرد شود (Siddique *et al.*, 2001). تنش کم‌آبی یکی از محدودیت‌های اصلی در تولید نخود است که وقوع آن در طی مراحل گل‌دهی و پر شدن دانه‌ها می‌تواند عملکرد آن را در حدود ۵۰ درصد کاهش دهد (Rani *et al.*, 2020). در شرایط تنش کم‌آبی، گیاهان زراعی با کاهش پتانسیل آب مواجه می‌شوند و انتقال عناصر غذایی از طریق محلول خاک مختل می‌گردد، لذا با وجود دسترسی گیاه به عناصر غذایی، امکان انتقال این عناصر و مواد مغذی خاک امکان‌پذیر نمی‌باشد (Selvakumar *et al.*, 2012). ازاین¬رو، درک الگوها و سازوکارهای دقیق واکنش گیاهان نسبت به تنش کم‌آبی برای پیش‌بینی عملکرد و انعطاف‌پذیری گیاه در آینده در مواجهه با دوره‌های کم‌آبی فزاینده، بسیار مهم می‌باشد.

از دیگر مواردی که در صورت عدم کنترل می‌تواند عملکرد کمّی و کیفی محصولات تولیدی را تحت تأثیر قرار دهد، می‌توان به علف‌های هرز اشاره کرد. برآوردها حاکی از آن است که سالانه حدود ۱۱ درصد تولیدات کشاورزی جهان در اثر خسارت علف‌های هرز کاهش می‌یابند (Mahé *et al.*, 2022). علف‌های هرز از مهم‌ترین محدودیت‌های زیستی برای تولید محصولات کشاورزی در کشورهای در حال توسعه هستند (Oerke, 2006) و می‌توانند منجر به کاهش ۱۰ تا ۱۰۰ درصدی تولید محصول شوند (Hussain *et al.*, 2015). رقابت علف‌های هرز در زراعت نخود می‌تواند منجر به کاهش ۴۰ تا ۹۰ درصدی عملکرد آن شود (Nosratti *et al.*, 2020) . همچنین، راتنام و همکاران (Ratnam *et al.*, 2011) دریافتند که تداخل علف‌های هرز می‌تواند بهره‌وری نخود را به‌دلیل کندی رشد اولیه و محدود بودن سطح برگ در مراحل اولیه رشد و استقرار، تا بیش از ۸۵ درصد کاهش دهد. از جمله مهم‌ترین و رقابتی‌ترین علف‌های هرز تیره بقولات به‌ویژه مزارع نخود می‌توان به خردل وحشی (*Sinapis arvensis* L.) اشاره کرد. خردل وحشی گیاهی یک‌ساله از تیره شب بو است که از طریق بذر تکثیر شده و به‌دلیل سرعت بالا در به حداکثر رساندن سطح برگ، از قدرت رقابت بالایی جهت کسب نور برخوردار است و خسارت جبران‌ناپذیری بر گونه‌های زراعی وارد می‌کند (Warwick *et al.*, 2000). این گیاه هرز به‌دلیل نداشتن الگوی خاص در جوانه‌زنی (به‌دلیل وجود خواب در بذور)، از مشکل‌سازترین علف‌های هرز مزارع مختلف به‌شمار می‌رود، به‌طوری‌که هم در کشت‌های بهاره و هم در کشت‌های پاییزه مشکل‌ساز شده و می‌تواند عملکرد دانه را به‌میزان ۲۰ درصد یا بیشتر کاهش دهد (Behdarvandi *et al.*, 2006). عملکرد لوبیا سفید با افزایش تراکم خردل وحشی کاهش یافت، به‌طوری‌که بیشترین کاهش در عملکرد لوبیا سفید (۵۷ درصد) مربوط به تراکم ۲۰ بوته در مترمربع این علف هرز بود (Wall, 1993). در مطالعه‌ای دیگر، با افزایش تعداد بوته علف هرز خردل وحشی از صفر تا ۲۰ بوته در مترمربع، میزان عملکرد دانه، شاخص کلروفیل برگ و محتوای نیتروژن کلزا در دو سال آزمایش به‌طور معنی‌داری کاهش یافت (Naderi & Ghadiri, 2009). همچنین، کاهش معنی‌دار ارتفاع بوته، تعداد کاپیتول در گیاه، وزن هزار دانه و عملکرد دانه با افزایش تراکم علف هرز خردل وحشی در زراعت گلرنگ (*Carthamus tinctorius* L.) نیز گزارش شده است (Serim, 2021). در برخی مواقع نیز خسارت ناشی از این علف هرز گاهی به‌قدری زیاد است که تنها سه درصد از عملکرد قابل برداشت بوده است (Anafjeh *et al.*, 2010).

ازآنجایی‌که خردل وحشی یکی از مهم‌ترین علف‌های هرز آلوده‌کننده مزارع نخود کشت بهاره در شهرستان کلیبر است، هدف از اجرای این پژوهش بررسی پاسخ مورفولوژیک، عملکرد و اجزاء عملکرد نخود به شرایط رقابت با تراکم‌های خردل وحشی در شرایط تنش کم‌آبی بود تا مشخص گردد که تداوم این تنش‌ها در مراحل حساس فنولوژیکی چه تأثیری بر نخود دارد.

مواد و روش‌ها

به‌منظور بررسی اثر تراکم‌های خردل وحشی بر عملکرد و اجزاء آن در نخود تحت شرایط تنش کم‌آبی، پژوهشی در مزرعه تحقیقاتی جهاد کشاورزی شهرستان کلیبر استان آذربایجان شرقی با عرض جغرافیایی ۴۷ درجه و ۲۰ دقیقه شمالی و طول جغرافیایی ۳۸ درجه و ۵۲ دقیقه شمالی با اقلیم معتدل کوهستانی در فصل بهار ۱۴۰۰ انجام شد. آزمایش به‌صورت کرت‌های خرد شده بر پایه طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار اجرا شد. عوامل آزمایش شامل سطوح مختلف آبیاری (آبیاری در حد ظرفیت زراعی، آبیاری در زمان ۶۵ درصد تخلیه رطوبتی خاک و آبیاری در زمان ۹۰ درصد تخلیه رطوبتی خاک) به‌عنوان عامل اصلی و تراکم‌های صفر، ۵، ۱۰ و ۱۵ بوته در مترمربع علف هرز خردل وحشی به‌عنوان عامل فرعی بودند. در این آزمایش، قطعه زمینی به مساحت ۳۵۱ مترمربع در پاییز شخم زده شد و در اواخر زمستان پس از دیسک‌زنی، تسطیح و کرت‌بندی شد. به‌منظور تغذیه خاک، شش ماه قبل از کاشت از کود دامی کاملاً پوسیده به‌میزان ۲۰ تن در هکتار استفاده شد و تا عمق ۳۰ سانتی‌متری با خاک مخلوط گردید. هر کرت از ۱۰ ردیف به‌طول سه و عرض دو متر تشکیل شده بود، فاصله بین ردیف‌های کاشت ۲۰

سانتی‌متر و فاصله بین بوته‌ها ۱۰ سانتی‌متر در نظر گرفته شد (۲۶/۶۷ بوته در مترمربع). همچنین، بین کرت‌های اصلی ۱/۵ متر و مابین تکرارها دو متر فاصله در نظر گرفته شد. بذور نخود رقم محلی جم از جهاد کشاورزی واحد کلیبر تهیه شد و در کرت‌هایی که به‌صورت جوی-پشته‌ای آماده شده بودند، به‌روش دستی در اوایل اردیبهشت‌ماه در محل داغ‌آب ردیف‌ها کشت شدند. در هر محل کاشت، دو تا سه عدد بذر کشت شد و پس از سبز شدن، بوته‌های اضافی تنک شدند. تیمارهای تنش کم‌آبی در زمانی اعمال شدند که گیاهچه‌های نخود در زمین اصلی به‌خوبی مستقر شده بودند (چهار تا شش برگی حقیقی). بر این اساس، میزان رطوبت قابل دسترس خاک در کرت-های آزمایشی با استفاده از دستگاه رطوبت‌سنج خاک (مدل Lotron PMS-714؛ ساخت تایوان) در چندین نقطه از کرت‌های آزمایشی اندازه-گیری شد و بر طبق آن، زمان دقیق آبیاری مشخص گردید. بذور سیاه رنگ علف هرز خردل وحشی از جمعیت‌های اطراف محل آزمایش در تابستان سال قبل همزمان با زرد شدن خورجین‌های آن‌ها، قبل از باز شدن و ریزش جمع‌آوری شدند. این بذور، در دمای پنج درجه سانتی‌گراد با رطوبت نسبی ۲۵ درصد در طول زمستان نگهداری شدند و در بهار در تیمارهای آزمایشی کشت شدند. قبل از کاشت، جوانه‌زنی بذور خردل وحشی در پتری‌های آزمایشی در دمای ۱۰ الی ۲۰ درجه سانتی‌گراد مورد ارزیابی قرار گرفت. بذور علف هرز خردل وحشی در دو طرف ردیف‌های کاشت نخود و در عمق ۰/۵ سانتی‌متری خاک همزمان با بذور نخود کاشته شدند. بذور این علف هرز در تراکم بیش از نیاز در کرت‌های آزمایشی پخش شده و پس از سبز شدن و رسیدن گیاهچه‌ها به ارتفاع پنج سانتی‌متر، برای رسیدن به تراکم‌های دلخواه تنک شدند. به‌منظور محدود کردن رقابت، سایر علف‌های هرز روییده در کرت‌های آزمایشی در دو نوبت وجین شدند. آبیاری به‌روش نشتی در کرت‌ها انجام شد و دور آبیاری مطابق با شرایط منطقه در نظر گرفته شد. در زمان شروع گل‌دهی و به‌منظور اندازه‌گیری صفات مورفولوژیک، پنج بوته نخود از ردیف‌های مرکزی هر کرت (از سطحی معادل ۰/۱۸۷۵ مترمربع) به‌طور کامل همراه با ریشه برداشت شد و پس از خاک‌زدایی و شست‌وشوی ریشه‌ها، طول ریشه اصلی و تعداد ریشه‌های فرعی و در نهایت، وزن کل ریشه‌ها اندازه‌گیری شد. به‌علاوه، ارتفاع آن‌ها از سطح خاک تا انتهای گل‌آذین با خط‌کش بر حسب سانتی‌متر اندازه‌گیری شد و همزمان با آن، تعداد ساقه‌های فرعی در بوته‌های مورد هدف شمارش و یادداشت‌برداری گردید. در انتهای فصل رشد، زمانی‌که غلاف‌های نخود به‌طور کامل رسیدند و زرد شدند، عملکرد و اجزاء عملکرد در بوته‌های نخود اندازه‌گیری شد. بدین‌منظور، در زمان رسیدگی فیزیولوژیکی بذور نخود، ۱۰ بوته از قسمت‌های مرکزی هر کرت (از سطحی معادل ۰/۳۷۵ مترمربع) برداشت شد و در پاکت‌های کاغذی به آزمایشگاه منتقل شد. در آزمایشگاه، تعداد غلاف و تعداد دانه در هر بوته شمارش شد و دانه‌های نخود توسط دست، خرمن‌کوبی و بوجاری شدند.

سپس، تمامی بخش‌های تفکیک شده به‌مدت ۷۲ ساعت به داخل آون با دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد منتقل شدند و زمانی‌که به وزن ثابت رسیدند، عملکرد بیولوژیک، عملکرد دانه اندازه‌گیری و شاخص برداشت (معادله ۱) محاسبه شد.

$$Harvest\ index = \left(\frac{Seed\ yield}{Biological\ yield} \times 100 \right) \quad (۱)$$

برای محاسبه وزن ۱۰۰ دانه نیز ۱۰۰ عدد بذر نخود به‌طور تصادفی انتخاب شد و با ترازوی حساس (با دقت ۰/۰۱ گرم) توزین شدند. همزمان با برداشت بوته‌های نخود و به‌منظور عدم انتشار بذور خردل وحشی در مزرعه، بوته‌های این علف هرز جمع‌آوری شده و معدوم شدند. تجزیه داده‌های آزمایش در نرم‌افزار Minitab نسخه ۱۷ و برش‌دهی اثرات متقابل در نرم‌افزار SAS نسخه ۹/۲ انجام شده و مقایسه میانگین بین تیمارها با استفاده از آزمون حداقل تفاوت معنی-داری (LSD) در سطح احتمال پنج درصد انجام گرفت. آزمون نرمالیته به‌روش آندرسون- دارلینگ (Anderson-Darling) انجام شد و روی داده‌هایی که نرمال نبودند، تبدیل داده به‌روش جانسون ترانسفورماسیون (Johnson Transformation) انجام شد.

نتایج و بحث

در اکثر صفات مورد بررسی، اثرات متقابل بین تنش کم‌آبی × تراکم خردل وحشی (به‌جز تعداد ساقه‌های فرعی) معنی‌دار بودند. ازاین¬رو، اثرات متقابل عوامل آزمایش بر صفات توصیف شدند.

طول ریشه اصلی

اثرات متقابل تنش کم‌آبی × تراکم خردل وحشی بر طول ریشه اصلی نخود در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار شد (جدول ۱). نتایج نشان داد که بیشترین طول ریشه اصلی در وضعیت شاهد، بدون حضور خردل وحشی با آبیاری در حد ظرفیت زراعی (۱۴/۶۹ سانتی‌متر) و کمترین آن در تراکم ۱۵ بوته علف هرز خردل وحشی با آبیاری پس از ۹۰ درصد تخلیه رطوبتی (۲/۶۷ سانتی‌متر) در خاک به-دست آمد (جدول ۲). مطالعات مشابه نیز نشان دادند که تنش کم‌آبی روی طول ریشه اصلی نخود اثر کاهنده دارد (Shaban *et al*., 2012). ریشه‌های گیاهان، کمبود آب در خاک را طی تنش کم‌آبی حس کرده و یاخته‌های ریشه از نظر رشد و تمایز واکنش نشان می‌دهند و پس از آن پیام‌هایی را به شاخساره منتقل می‌کنند که نتیجه آن، کاهش رشد ریشه اصلی گیاه در شرایط وقوع تنش است.

جدول ۱- نتایج تجزیه واریانس (میانگین مربعات) سطوح مختلف آبیاری و تراکم خردل وحشی بر شاخص‌های ریخت‌شناختی در نخود

Table 1- Analysis of variance (mean of squares) of morphological characteristics in chickpea (*Cicer arietinum* L.) under different irrigation regimes and wild mustard (*Sinapis arvensis* L.) densities

S.O.V	d.f	Main root length	Lateral roots number	Roots dry weight	Height	Lateral shoots number
Block	2	14.01	2.32	212.70	22.02	6.69
Water-deficit stress (A)	2	171.27**	93.42**	3592.70**	1032.85**	146.19**
Error A	4	4.09	5.79	274.98	30.42	1.32
Weed density (B)	3	25.30**	23.27**	579.09**	218.59**	51.33**
A × B	6	7.37*	2.83*	279.56**	24.68**	4.53 ns
Total error	18	2.02	1.19	43.41	6.06	5.63
The slicing for effects of irrigation regimes × weed density – mean squares						
Field capacity	3	19.28**	17.31**	807.12**	161.58**	–
65% depletion of the water capacity	3	19.11*	10.39**	326.85**	17.42*	–
90% depletion of the water capacity	3	1.64 ns	1.22 ns	4.26 ns	88.96**	–

ns، * و **: به‌ترتیب عدم معنی‌داری و معنی‌داری در سطح احتمال پنج و یک درصد را نشان می‌دهند.

* and **: show significantly different at α = 0.05 and α = 0.01, respectively, and ns: is not significantly different.

همچنین، حشمت‌نیا و آرمین (Heshmatnia & Armin, 2016) گزارش کردند که علف‌های هرز موجب کاهش طول ریشه نخود می‌شوند. مطالعات پیشین نیز نشان داده‌اند که تداخل علف‌های هرز در گیاه نخود موجب کاهش رشد ریشه می‌شود (Mohammadi *et al*., 2004). به نظر می‌رسد که در شرایط تنش رطوبتی در خاک، حضور علف هرز خردل وحشی، تنش رقابتی بیشتری را بر بوته‌های نخود تحمیل می‌کند یا به عبارتی، حساسیت بوته‌های نخود نسبت به دیگر تنش‌ها بیشتر می‌شود. بنابراین، با توجه به نبود آب و منابع کافی در شرایط رقابت با علف هرز خردل وحشی، طول ریشه اصلی در بوته‌های نخود کاهش معنی‌داری یافت. در تمامی تیمارهای رطوبتی در خاک، با افزایش تراکم علف هرز خردل وحشی، از طول ریشه اصلی بوته‌های نخود کاسته شد. بااین‌حال، در هر سطح آبیاری افزایش تراکم خردل وحشی تأثیر متفاوتی بر طول ریشه اصلی نخود داشت. در شرایط رطوبت ظرفیت زراعی، تراکم‌های بالای پنج بوته در مترمربع علف هرز خردل وحشی منجر به کاهش معنی‌دار طول ریشه اصلی نخود شد. درحالی‌که، در شرایط ۶۵ درصد تخلیه رطوبتی در خاک، تراکم ۱۵ بوته در مترمربع علف هرز خردل وحشی منجر به کاهش معنی‌دار طول ریشه اصلی بوته‌های نخود نسبت به شاهد بدون علف‌هرز شد و در شرایط ۹۰ درصد تخلیه رطوبتی در خاک، افزایش تراکم علف هرز خردل وحشی تأثیر معنی‌داری بر کاهش طول ریشه اصلی در بوته‌های نخود نداشت (جدول ۲). به نظر می‌رسد که در شرایط تنش شدید رطوبتی در خاک، علف هرز خردل وحشی نیز درگیر تنش رطوبتی در خاک بوده و ازاین¬رو، افزایش تراکم آن تأثیر چندانی بر کاهش طول ریشه اصلی نخود نداشته است. ضمن آنکه تمامی انرژی بوته‌های نخود صرف مقابله با تنش کم‌آبی و جذب آب و عناصر غذایی محدود خاک در شرایط رقابتی با بوته‌های خردل وحشی شده است.

تعداد ریشه‌های فرعی و وزن خشک ریشه‌ها

اثرات متقابل تنش کم‌آبی × تراکم خردل وحشی بر تعداد ریشه‌های فرعی نخود در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار شد (جدول ۱). نتایج نشان داد که بیشترین تعداد ریشه‌های فرعی مربوط به وضعیت شاهد و آبیاری در حد ظرفیت زراعی (۱۱/۵۶ عدد) و کمترین آن مربوط به تراکم ۱۵ بوته خردل وحشی و آبیاری پس از ۹۰ درصد تخلیه رطوبتی (۲/۳۳ عدد) در خاک بود (جدول ۲). مطالعات نشان داده‌اند که تأثیر تنش کم‌آبی بر تعداد ریشه‌های فرعی گیاه نخود معنی‌دار بوده و بیشترین تعداد ریشه‌های فرعی در نمونه‌های مورد مطالعه مربوط به شرایط نرمال و بدون اعمال تنش بوده است (Shaban *et al*., 2012). محمدی و همکاران (Mohammadi *et al*., 2004) نیز نشان دادند که تداخل علف‌های هرز در نخود موجب کاهش معنی‌دار تعداد ریشه‌های فرعی آن گردید. در شرایط رطوبت ظرفیت زراعی و ۶۵ درصد تخلیه رطوبتی، در تراکم پنج بوته در مترمربع خردل وحشی و تراکم‌های بالاتر از آن تعداد ریشه‌های فرعی به‌طور معنی‌داری نسبت به شاهد بدون علف‌هرز کاهش یافتند. بااین‌حال، در شرایط ۹۰ درصد تخلیه رطوبتی در خاک با افزایش تراکم خردل وحشی (حتی تراکم پنج بوته در مترمربع) تفاوت معنی‌داری بین تیمارهای علف هرزی و شاهد مشاهده نشد (جدول ۲).

نتایج اثرات متقابل تنش کم‌آبی و تراکم خردل وحشی نشان داد که بیشترین وزن خشک ریشه‌های نخود مربوط به شاهد بدون علف-هرز و آبیاری در حد ظرفیت زراعی (۵۳/۸۰ گرم در مترمربع) و کمترین آن مربوط به تراکم ۱۵ بوته خردل وحشی و آبیاری پس از ۹۰ درصد تخلیه رطوبتی (۵/۰۷ گرم در مترمربع) در خاک بود (جدول ۳). تنش کم‌آبی و تراکم بالای خردل وحشی در زراعت نخود باعث کاهش محسوس وزن خشک ریشه‌ها شد که این امر به‌دلیل عدم امکان جذب آب و عناصر غذایی محلول در آن، رقابت بالای بوته‌های خردل وحشی برای کسب منابع و نبود فضای کافی برای رشد ریشه‌های گیاه در خاک بود. افزایش وزن خشک گیاهی مربوط به افزایش سطح برگ و آسیمیلاسیون مواد فتوسنتزی و استفاده از آن جهت افزایش وزن بخش‌های مختلف گیاهی به‌خصوص ریشه‌ها است که در شرایط تنش کم‌آبی در خاک و حضور بوته‌های علف هرز خردل وحشی و سایه‌اندازی آن‌ها به‌نحو مقتضی انجام نگرفته است که نهایتاً این امر منجر به کاهش وزن خشک ریشه‌های نخود گردید. بااین‌حال، به‌نظر می‌رسد که تنش کم‌آبی به‌مراتب تأثیر بیشتری بر کاهش وزن خشک ریشه‌های نخود داشته است، به‌طوری‌که در تیمارهای تنش کم‌آبی (به‌خصوص تنش شدید)، وزن خشک ریشه‌های نخود تحت تأثیر تراکم خردل وحشی کاهش چندانی نداشت. در کل، در شرایط تنش‌زا بوته‌های نخود جهت مقابله با تنش کم‌آبی و رقابت مؤثر با علف‌های هرز در جذب آب و عناصر غذایی، انرژی بیشتری را صرف نگه داشت طول ریشه، تعداد ریشه‌ها و وزن خشک ریشه‌ها می‌کنند. ضمن آنکه بوته‌های خردل وحشی نیز تحت تنش رطوبتی در خاک بوده و سرعت جذب آب و عناصر غذایی در آن‌ها محدود شده است. این عوامل موجب شده‌اند تا طول ریشه اصلی، تعداد ریشه‌های فرعی و وزن خشک ریشه‌های نخود تحت تأثیر تراکم‌های علف هرزی قرار نگرفته و مقادیر این صفات کاهش چندانی نداشته باشند.

ارتفاع بوته و تعداد ساقه‌های فرعی

نتایج نشان داد که بیشترین ارتفاع گیاه در بین تمامی تیمارهای تنش کم‌آبی و تراکم‌های علف هرز خردل وحشی مربوط به شاهد و آبیاری در حد ظرفیت زراعی (۵۱/۱۱ سانتی‌متر) و کمترین آن مربوط به تراکم ۱۵ بوته خردل وحشی و آبیاری پس از ۹۰ درصد تخلیه رطوبتی (۱۷/۰۵ سانتی‌متر) در خاک بود (جدول ۳). در مطالعه حاضر نیز تنش کم‌آبی و تراکم بالای خردل وحشی موجب کاهش ارتفاع نخود

شد که ناشی از نبود فضای کافی برای رشد گیاه در حضور علف‌هرز خردل وحشی و سایه‌اندازی بوته‌های خردل وحشی در پی بستن زودهنگام تاج‌پوشش آن بود که منجر به کاهش ارتفاع در بوته‌های نخود به‌خصوص در شرایط محدودیت منابع گردید. حضور خردل وحشی در مزرعه گندم به‌طور معنی‌داری موجب کاهش ارتفاع بوته، کاهش تعداد دانه در سنبله، کاهش وزن خشک و عملکرد دانه گندم شد (Siyahpoosh et al., 2012). زیمدال (Zimdahl, 2007) بیان داشت که رقابت علف‌های هرز و گیاه زراعی در استفاده از منابع غذایی موجود منجر به کاهش عناصر غذایی در دسترس گیاه و به تبع آن کاهش رشد و ارتفاع گیاه زراعی می‌شود. ازاین‌رو، به نظر می‌رسد که به‌دلیل کندی سرعت رشد نخود در ابتدای فصل رشد، خردل وحشی به‌خصوص در تراکم‌های بالا موفق‌تر عمل کرده و از طریق سایه‌اندازی و استفاده بیشتر از منابع موجود موجب کاهش رشد و ارتفاع بوته‌های نخود گردیده است. لازم به ذکر است که در تراکم ثابت خردل وحشی، تأثیر تنش کم‌آبی بر کاهش ارتفاع بوته‌های نخود بیش از افزایش تراکم خردل وحشی در هر تیمار تنش رطوبتی بود، به‌طوری‌که شیب کاهشی ارتفاع بوته‌های نخود با افزایش تنش رطوبتی در خاک بیشتر از شیب کاهشی ارتفاع بوته‌ها با افزایش تراکم خردل وحشی بود. این امر نشان می‌دهد که در شرایط تنش رطوبتی در خاک، بوته‌های خردل وحشی نیز تحت شرایط تنش‌زا بوده و به‌دلیل دشواری جذب منابع جهت توسعه سطح فتوسنتز و ماده خشک به‌خصوص در مرحله رشد رویشی، نتوانسته‌اند اثرات رقابتی شدیدی را بر بوته‌های نخود وارد کنند.

نتایج اثرات متقابل تنش کم‌آبی × تراکم خردل وحشی روی تعداد ساقه‌های فرعی در نخود معنی‌دار نبود. بااین‌حال، تعداد ساقه‌های فرعی نخود تحت تأثیر اثرات اصلی تنش کم‌آبی و تراکم خردل وحشی در سطح احتمال یک درصد قرار گرفتند (جدول ۱). کمترین تعداد ساقه‌های فرعی مربوط به آبیاری پس از ۹۰ درصد تخلیه رطوبتی (۳/۲۵ عدد در هر بوته) و بیشترین آن مربوط به حد ظرفیت زراعی (۱۰ عدد در هر بوته) بود (شکل ۱-A). تنش کم‌آبی روی تعداد شاخه‌های اصلی سویا (Mirakhori et al., 2009) و گلرنگ نیز تأثیری معنی‌دار داشته و موجب کاهش این صفت شد (Kaykhazaleh et al., 2022). همچنین، کمترین تعداد ساقه‌های فرعی در بین تیمارهای تراکم علف هرزی مربوط به تراکم ۱۵ بوته خردل وحشی (۳/۷۸ عدد در هر بوته) و بیشترین آن مربوط به شاهد بدون علف‌هرز (۹/۳۳ عدد در هر بوته) بود (شکل ۱-B).

جدول ۲- اثرات متقابل سطوح مختلف آبیاری و تراکم علف هرز خردل وحشی روی طول ریشه اصلی و تعداد ریشه‌های فرعی نخود در شرایط مزرعه‌ای

Table 2- Interaction effects between different irrigation regimes and wild mustard density on a main root length and lateral roots number of chickpea (*Cicer arietinum* L.)

Wild mustard density	Main root length (cm)			Lateral roots number		
	Field capacity	65% depletion of the water capacity	90% depletion of the water capacity	Field capacity	65% depletion of the water capacity	90% depletion of the water capacity
Control	14.69 a*	9.67 a	4.33 a	11.56 a	6.64 a	3.67 a
5 plants.m^{-2}	11 b	9.51 a	4 a	7.75 b	4.67 ab	3 a
10 plants.m^{-2}	9.34 b	9.10 a	3.33 a	7.72 b	3.33 b	2.33 a
15 plants.m^{-2}	9.28 b	4.4 b	2.67 a	5.83 c	2.33 b	2.33 a
LSD 5%	2.21	3.66	2.42	1.68	2.49	2.28

* میانگین‌های با حروف مشترک در هر ستون براساس آزمون LSD اختلاف معنی‌داری با یکدیگر در سطح احتمال پنج درصد ندارند.

* The means followed by the same letter in a column were not significantly different at p≤0.05 (LSD test).

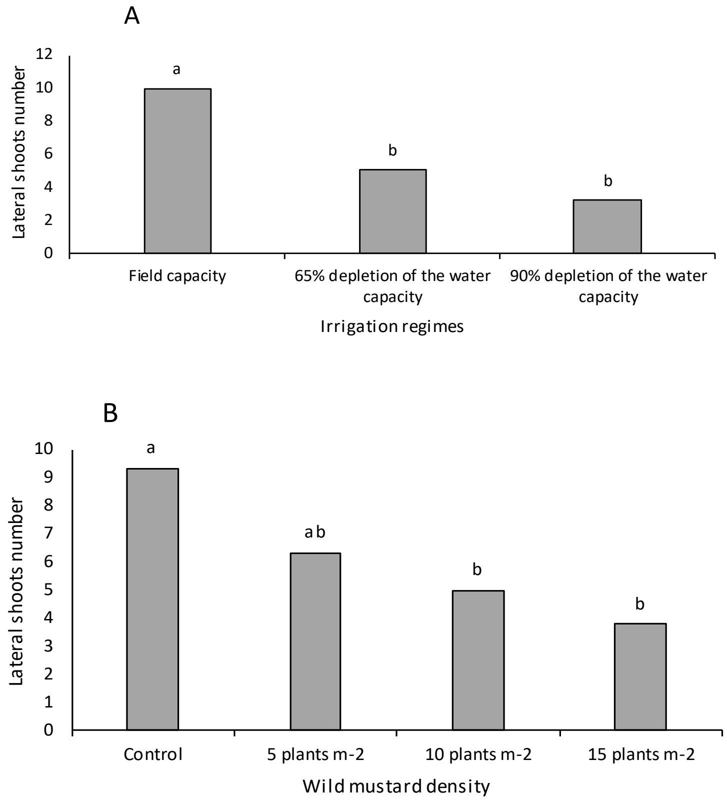
جدول ۳- اثرات متقابل سطوح مختلف آبیاری و تراکم خردل وحشی روی وزن خشک ریشه‌ها و ارتفاع نخود در شرایط مزرعه‌ای

Table 3- Interaction effects between different irrigation regimes and wild mustard density on a roots dry weight and height of chickpea (*Cicer arietinum* L.)

Wild mustard density	Roots dry weight (g.m^{-2})			Height (cm)		
	Field capacity	65% depletion of the water capacity	90% depletion of the water capacity	Field capacity	65% depletion of the water capacity	90% depletion of the water capacity
Control	53.80 a*	31.17 a	7.98 a	51.11 a	34.33 a	29.67 a
5 plants.m^{-2}	53.32 a	11.88 ab	6.63 a	44.67 ab	32.67 ab	25.67 a
10 plants.m^{-2}	32.58 ab	11.18 ab	6.55 a	36.81 bc	32.67 ab	21.33 ab
15 plants.m^{-2}	20.40 b	8.45 b	5.07 a	35.33 c	28.67 b	17.05 b
LSD 1%	25.88	20.01	11.10	8.23	5.32	8.40

* میانگین‌های با حروف مشترک در هر ستون براساس آزمون LSD اختلاف معنی‌داری با یکدیگر در سطح احتمال یک درصد ندارند.

* The means followed by the same letter in a column were not significantly different at p≤0.01 (LSD test).



شکل ۱- تأثیر سطوح آبیاری (A) و تراکم خردل وحشی (B) بر روی تعداد ساقه‌های فرعی نخود

Figure 1- Changes in chickpea (*Cicer arietinum* L.) lateral shoots number under different irrigation regimes (A) and wild mustard density (B)

تعداد غلاف در بوته

اثرات متقابل تنش کم‌آبی و تراکم خردل وحشی بر تعداد غـلاف در بوته‌های نخود در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار بود (جدول ۴). در تمامی سطوح آبیاری بـا افـزایش تـراکم خـردل وحشـی، از تعـداد غلاف در بوته‌های نخود کاسته شد. بیشـترین تعـداد غـلاف در بوتـه مربوط به شاهد بدون علف‌هرز و آبیاری در حد ظرفیت زراعی (۱۳/۹۷ عدد در هر بوته) و کمترین آن مربوط به تراکم ۱۵ بوته خردل وحشی و آبیاری پس از ۹۰ درصد تخلیه رطوبتی (۲/۳۳ عدد در هر بوتـه) در خاک بود (کاهش ۸۳/۳۲ درصدی نسبت به شاهد بدون علف‌هـرز در شرایط حد ظرفیت زراعی) (جدول ۵). تنش شدید کـم‌آبـی در لوبیـا نیـز موجب کاهش تعداد غلاف در بوته‌های آن به‌میزان ۳۹/۸ درصد نسـبت بـه شرایط آبیـاری نرمـال شـد (Habibpour Kashefi *et al.*, 2017). دلیـل کاهش تعداد غلاف در بوته‌های نخود در شرایط تنش کم‌آبی می‌تواند به‌واسطه اختلال در عمل گرده‌افشانی، کاهش تعداد گل‌هـا و ریـزش آن‌ها و غلاف‌ها در شرایط تنش رطوبتی باشد. از سوی دیگـر، تعـداد غلاف در بوته از مهم‌ترین و حساس‌ترین اجزاء عملکرد دانه بقـولات محسوب می‌شود که به‌شدت تحت تأثیر رقابت علف‌هـای هـرز قـرار می‌گیرد (Malek Maleki *et al.*, 2013). مطالعات نشان داده‌اند که تیمار عدم وجین علف‌های هرز به‌ترتیب موجب کـاهش ۵۰/۳، ۵۱/۸، ۵۰/۸ و ۴۱/۱ درصدی تعداد غلاف در بوته ارقام آزاد، آرمان، هاشم و عادل نخود دیـم در مقایسـه بـا تیمـار وجـین علـف‌هـای هـرز شـد، به‌طوری‌که کمترین تعداد غلاف در بوته مربوط به رقم آرمان در تیمار عدم وجین علـف‌هـای هـرز بـود (Fallahi *et al.*, 2021). نـادری و غدیری (Naderi & Ghadiri, 2009) نیز بیـان داشـتند، زمـانی‌کـه نسبت کاشت خردل وحشی/کلزا سه به یک افـزایش مـی‌یابـد، تعـداد خورجین در بوته‌های کلزا به‌شدت کاهش می‌یابـد. بااین‌حـال، شـیب کاهش تعداد غلاف در بوته‌های نخود در شـرایط ظرفیـت زراعـی بـا افزایش تراکم علف هـرز خـردل وحشـی بیشـتر از شـرایط ۶۵ و ۹۰ درصد تخلیه رطوبتی در خاک بود. به نظر می‌رسد که در شرایط تنش رطوبتی در خاک، به‌دلیل تنش اکسـیداتیو ایجـاد شـده در بوتـه‌هـای خردل وحشی از اعمال قدرت رقابتی این علف هرز بر بوته‌های نخـود با افزایش تراکم علف هرزی کاسته شده باشد که این امر موجب شده است که در شرایط تنش شدید رطوبتی در خاک، تعداد غلاف در بوته‌های نخود شیب کاهشی کندتری داشته باشد.

جدول ٤- نتایج تجزیه واریانس (میانگین مربعات) سطوح مختلف آبیاری و تراکم خردل وحشی بر عملکرد و اجزاء آن در نخود

Table 4- Analysis of variance (mean of squares) of yield and its components in chickpea (*Cicer arietinum* L.) under different irrigation regimes and wild mustard (*Sinapis arvensis* L.) densities

S.O.V	d.f.	Legume numner.plant^{-1}	Seed number.plant^{-1}	100-seed weight	Biological yield	Seed yield	Harvest index
Block	2	0.91	16.29	0.73	2252040	79266	7.23
Water-deficit stress (A)	2	129.47**	334.80**	78.21**	56764992**	5348406**	28.51 ns
Error A	4	3.63	20.16	10.43	2226233	219376	182.26
Weed density (B)	3	44.47**	45.53**	11.63**	5105267**	1016169**	88.26**
A × B	6	5.45*	15.39*	3.08*	311103**	91842*	33.25*
Total error	18	1.67	4.04	0.79	64007	31316	13.66
The slicing for effects of irrigation regimes × weed density – mean squares							
Field capacity	3	35.28**	70.31**	1.94*	2262018**	817742**	53.73*
65% depletion of the water capacity	3	17.56**	2.78 ns	0.78 ns	2729041**	271744**	73.59**
90% depletion of the water capacity	3	2.53 ns	3.22*	15.08**	736414**	110366*	27.43 ns

ns، * و **: ترتیب عدم معنی‌داری و معنی‌داری در سطح احتمال پنج و یک درصد را نشان می‌دهند.

* and **: show significantly different at $\alpha = 0.05$ and $\alpha = 0.01$, respectively, and ns: is not significantly different.

تعداد دانه در بوته

اثرات متقابل تنش کم‌آبی و تراکم خردل وحشی بر تعداد دانـه در بوته‌های نخود در سطح احتمال پنج درصد معنـی‌دار بـود (جـدول ۴). نتایج نشان داد که در تمامی تیمارهای آبیاری، با افزایش تراکم خردل وحشی از تعداد دانه در بوته‌های نخود کاسته می‌شود. در بـین تمـامی تیمارها، بیشترین تعداد دانه در بوته مربوط به شاهد بدون علف هرز و آبیاری در حد ظرفیت زراعی (۱۸/۶۷ عدد در هر بوتـه) و کمتـرین آن مربوط به تراکم ۱۵ بوته خردل وحشـی و آبیـاری پـس از ۹۰ درصـد تخلیه رطوبتی (۲/۳۳ عدد در هر بوته) در خاک بـود (کـاهش ۸۷/۵۲ درصدی نسبت به شاهد بـدون علـف‌هـرز در شـرایط آبیـاری در حـد ظرفیت زراعی) (جدول ۵). در شرایط تنش‌زا ، تعداد گل‌هـای شـکفته در گیاهان کاهش یافته و برخی گل‌ها نیز ممکن است قبل از باروری یا پس از آن ریزش یابند که در نتیجه آن، تعداد غلاف در بوته کاهش می‌یابد. از سوی دیگر، در هر غلاف از بوته‌های نخود معمولاً یک یـا حداکثر دو عدد بذر دیده می‌شود که در شرایط تنش شدید رطوبتی در خاک یا شرایط رقابتی با علف‌های هرز می‌تواند به یـک عـدد بـذر در هر غلاف یا عدم وجود آن کاهش یابد. صفاهانی لنگرودی و همکاران (Safahani Langeroudi *et al.*, 2008) بیان داشتند که تعداد دانـه در خورجین رقم Option 500 کلزا در شرایط تنش شدید رقـابتی بـا خردل وحشی در مقایسه با شاهد از ۱۴ به هفت عدد در هر خـورجین کاهش می‌یابد. با افزایش سایه‌اندازی علف هرز و در نتیجـه، کـاهش فتوسنتز و به دنبال آن کاهش تجمع ماده خشک گیاهی، مواد کمتری به دانه‌ها اختصاص یافته و رقابت بین دانه‌ها برای جذب بیشـتر مـواد فتوسنتزی موجب می‌شود تا دانه‌هایی که به‌عنوان مخزن قوی‌تر عمل می‌کنند، مانع از رشد دانه‌هایی شوند که دارای قدرت کمتری در جذب مواد هستند. ازاین¬رو، به‌دلیل محـدودیت تولیـد مـواد فتوسـنتزی در شرایط تنش‌زا، جنین دانه‌هایی که در بدو تشکیل هستند، سقط مـی-شود که نتیجه آن، کاهش تعداد دانه در غلاف و بوتـه بـوده و نهایتـاً این امر منجر به پوک شدن کامل غلاف‌ها می‌شود. در شرایط تنش‌زا به‌ویژه در مرحله رشد زایشی، روند تغییرات تعداد دانه در بوته متـأثر از تعداد غلاف در بوته بوده و مادامی‌که تعداد غلاف در بوته کاهش یابد، تعداد دانه در بوته نیز به تبع آن کاهش خواهد یافت کـه ایـن امـر در شرایط ۹۰ درصد تخلیه رطوبتی در خاک با افزایش تراکم علـف هـرز خردل وحشی بیشتر مشهود است (جدول ۵).

وزن ۱۰۰ دانه

اثرات متقابل تنش کم‌آبی × تراکم خـردل وحشـی بـر وزن ۱۰۰ دانه نخود در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار بود (جـدول ۴). نتـایج نشان داد که بیشترین وزن ۱۰۰ دانه از شاهد بدون علف‌هرز و تـراکم پنج بوته در مترمربع علف هرز در شرایط آبیاری در حد ظرفیت زراعی (۳۱/۱۴ گرم) و کمترین آن از تراکم ۱۵ بوته خردل وحشی در شرایط آبیاری پس از ۹۰ درصد تخلیه رطـوبتی (۲۲/۶۱ گـرم) به‌دسـت آمـد (جدول ۵). بر این اسـاس، وزن ۱۰۰ دانـه نخـود در بـالاترین تـراکم خردل وحشی تحت تنش شدید رطـوبتی در خـاک نسـبت بـه شـاهد بدون علف‌هرز و حد ظرفیت زراعی ۲۷/۴ درصد کـاهش یافـت. تـأثیر تنش کم‌آبی بر وزن ۱۰۰ دانه لوبیای قرمز نیز معنی‌دار بود و در شرایط تنش شدید کم‌آبی، مقدار آن به‌میزان ۱۴/۹ درصد نسبت به شرایط آبیـاری نرمـال کاهش یافـت (Habibpour Kashefi *et al.*, 2017). عباسـلو و همکـاران (Abasluo *et al.*, 2014) نیز گزارش کردنـد کـه وزن ۱۰۰ دانـه نخـود در تیمارهای قطـع آبیـاری دو هفتـه بعـد از سـبز شـدن و قطـع آن در مرحلـه گل‌دهی در مقایسه با تیمار آبیاری نرمال به‌ترتیـب بـه‌میـزان ۵/۵ و ۵/۹ درصد کاهش یافت. بروز تنش کم‌آبی و استمرار آن تا زمان گـل‌دهی و پس از آن حتی در زمان پر شدن دانه‌ها به‌دلیل محدودسازی منـابع فتوسنتزی، تأثیر قابل توجهی بر کاهش وزن دانه در گیاهـان زراعـی دارد. از سوی دیگر، حضور علف‌های هـرز در تـراکم بـالا در زراعـت گیاهانی نظیر نخود که تاج‌پوشش و سطح برگ چندان قـوی ندارنـد، می‌تواند منجر به کاهش قدرت فتوسنتزی بوته‌ها در زمان گـل‌دهی و پر شدن دانه‌ها گشته و از این طریق موجـب کـاهش وزن دانـه‌هـا و تعداد آن‌ها گردد. در واقع، حضور علف‌های هرز در تراکم بالا در زمان پر شدن دانه‌ها موجب می‌شود تا از مقادیر مواد غذایی که باید جهـت تشکیل دانه‌ها و ذخیره در آن‌ها صرف شود، کاسته شده و نهایتاً دانه-های تشکیل شده در چنین شرایطی از اندازه کوچک‌تر و وزن کمتری برخوردار باشند. در مطالعه مشابه صورت گرفته روی کلـزا نیـز اثبـات شـد کـه وزن ۱۰۰۰ دانـه در ارقـام Hayola 401، RGS003، Option500 و Sarigol بر اثر تداخل علف هرز خـردل وحشـی و بـا افزایش تراکم این علف هرز به هشت بوته در مترمربع به‌شدت نسبت به شاهد بدون علف هرز کاهش می‌یابـد (Safahani Langeroudi *et al.*, 2008). سیدی و حمزه‌ئی (Seyedi & Hamzei, 2021) نیز نشـان دادند که کمترین وزن هزار دانه نخود با ۲۱۶/۹۰ گرم (۱۰/۸۰ درصـد کاهش نسبت به تیمار وجین کامل علف‌های هرز) از تیمار عدم وجین علف‌های هرز به‌دست آمد. ازاین¬رو، می‌توان نتیجه گرفت که تداوم تنش کم‌آبی و حضور علف‌هرز خردل وحشی بـا کـاهش فرآینـدهایی همچـون فتوسـنتز، جـذب آب و عناصـر غـذایی در مراحـل حسـاس فنولوژیکی گیاه موجب نرسیدن مواد غذایی بـه دانـه‌هـا و در نتیجـه، کوتاه شدن طول دوره مؤثر پر شدن آن‌ها گردیده و نهایتاً کاهش وزن ۱۰۰ دانه در نخود را به همراه داشته‌اند.

جدول ۵- اثرات متقابل سطوح مختلف آبیاری و تراکم خردل وحشی روی تعداد غلاف در بوته، تعداد دانه در بوته و وزن ۱۰۰ دانه نخود در شرایط مزرعه‌ای

Table 5- Interaction effects between different irrigation regimes and wild mustard density on a legume number per plant, seed number per plant and 100-seed weight of chickpea (*Cicer arietinum* L.)

Wild mustard density	**Legume numner plant^{-1}**			**Seed number plant^{-1}**			**100-seed weight (g)**		
	Field capacity	**65% depletion of the water capacity**	**90% depletion of the water capacity**	**Field capacity**	**65% depletion of the water capacity**	**90% depletion of the water capacity**	**Field capacity**	**65% depletion of the water capacity**	**90% depletion of the water capacity**
Control	13.97 a*	8.86 a	4.33 a	18.67 a	6.28 a	4.67 a	31.14 a	28.16 a	27.87 a
5 plants m^{-2}	10.86 b	5 b	3.67 a	16.33 a	5.67 a	4 ab	31.14 a	27.65 a	26.34 ab
10 plants m^{-2}	7.62 c	4.33 b	2.67 a	10 b	5.28 a	3 ab	30.22 ab	27.10 a	24.84 b
15 plants m^{-2}	6.33 c	3.33 b	2.33 a	8.67 b	4 a	2.33 b	29.48 b	27.10 a	22.61 c
LSD 5%	2.29	2.70	2.73	5.10	4.36	1.79	1.47	1.94	1.89

* میانگین‌های با حروف مشترک در هر ستون براساس آزمون LSD اختلاف معنی‌داری با یکدیگر در سطح احتمال پنج درصد ندارند.

* The means followed by the same letter in a column were not significantly different at $p \leq 0.05$ (LSD test).

عملکرد بیولوژیک

اثرات متقابل نشان داد که بیشترین عملکرد بیولوژیک از شاهد بدون علف‌هرز و در شرایط آبیاری در حد ظرفیت زراعی (۶۳۸۲/۷۰ کیلوگرم در هکتار) و کمترین آن از تراکم ۱۵ بوته خردل وحشی در شرایط آبیاری پس از ۹۰ درصد تخلیه رطوبتی (۷۹۸/۳۰ کیلوگرم در هکتار) به‌دست آمد (جدول ۶). بر این اساس، عملکرد بیولوژیک نخود تحت تنش شدید کم‌آبی با حضور بالاترین تراکم خردل وحشی نسبت به شاهد بدون علف‌هرز در شرایط ظرفیت زراعی ۸۷/۵ درصد کاهش یافت. مطالعات نشان داده‌اند که عملکرد بیولوژیک در شرایط تنش کم‌آبی کاهش می‌یابد که از جمله اثرات تنش کم‌آبی می‌توان به کاهش ارتفاع گیاه و تعداد گره در ساقه اشاره کرد که به موجب آن تقسیمات سلولی در گیاه کاهش یافته، آسیمیلاسیون کمتری صورت گرفته و این امر در نهایت موجب کاهش عملکرد بیولوژیک در گیاه می‌شود (Zabet & Hosseinzadeh, 2011). با کاهش مقدار آب در دسترس، تجمع مواد فتوسنتزی و سرعت رشد نسبی کاهش یافته و این امر بیانگر کاهش ماده خشک تولید شده در اثر کاهش رشد شاخ و برگ در مرحله رشد سبزینه‌ای است که می‌توانند از علل کاهش عملکرد زیستی گیاهان باشد (Molden *et al.*, 2001). به‌علاوه، عوامل دیگری از جمله کاهش محتوای کلروفیل و تأثیر آن روی کاهش فتوسنتز، بسته شدن روزنه‌ها و کاهش جذب دی‌اکسید کربن نیز موجب می‌گردد که عملکرد بیولوژیک در اثر تنش کم‌آبی کاهش یابد. از سوی دیگر، به نظر می‌رسد که تشابه در عمق گسترش ریشه‌ها در جهت دستیابی به منابع مشترک از جمله آب و عناصر غذایی با برتری علف‌هرز خردل وحشی همراه بوده است. علف‌های هرز در شرایط رقابتی عموماً از ابتدای فصل رشدی تمایل به جذب حداکثری آب و عناصر غذایی محدود در خاک را داشته و این منابع را در اندام‌های هوایی و زیرزمینی خود ذخیره می‌کنند که این امر در شرایط تنش رطوبتی در خاک، وضعیت را برای گیاه زراعی حادتر می‌کند. در ادامه فصل رشدی، علف‌های هرز به‌خصوص در تراکم بالا با افزایش سایه‌اندازی بر بوته‌های گیاه زراعی موجب اختلال در رشد، فتوسنتز و اندوخته ماده خشک گیاهی شده و در نهایت منجر به کاهش عملکرد بیولوژیک می‌گردند (Heshmatnia & Armin, 2016). دیما و الفتروهورینوس (Dhima & Eleftherohorinos, 2005) مشاهده کردند که در حضور تراکم ۱۴۰ بوته در مترمربع علف هرز خردل وحشی، زیست‌توده گندم و ترتیکاله به‌ترتیب ۳۱ و ۲۶ درصد کاهش یافت. مقایسه ماده خشک تجمعی ارقام گندم در تراکم‌های مختلف خردل وحشی حاکی از آن بود که مقدار کل ماده خشک ذخیره شده گندم در حضور چهار بوته خردل وحشی در همه ارقام به مراتب بیشتر از سایر تراکم‌هاست. امّا با افزایش تراکم خردل وحشی از چهار به ۳۲ بوته در مترمربع به‌شدت از مقدار ماده خشک ذخیره شده در بوته‌های گندم کاسته شد (Rezvani *et al.*, 2019). در مطالعه حاضر نیز تنش کم‌آبی و علف‌های هرز موجب کاهش عملکرد بیولوژیک در نخود گردید که احتمال می‌رود به‌دلیل عوامل ذکر شده باشد.

عملکرد دانه

اثرات متقابل تنش کم‌آبی و تراکم خردل وحشی بر عملکرد دانه نخود در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار بود (جدول ۴). بیشترین عملکرد دانه مربوط به شاهد بدون علف‌هرز در شرایط آبیاری در حد ظرفیت زراعی (۲۳۴۹ کیلوگرم در هکتار) و کمترین آن مربوط به تراکم ۱۵ بوته در مترمربع خردل وحشی در شرایط آبیاری پس از ۹۰ درصد تخلیه رطوبتی (۲۰۲/۳۳ کیلوگرم در هکتار) در خاک بود. بر این اساس، عملکرد دانه نخود نسبت به شاهد بدون علف‌هرز در شرایط آبیاری در حد ظرفیت زراعی، ۹۱/۳۹ درصد کاهش یافت. ساچدوا و همکاران (Sachdeva *et al.*, 2022) بیان داشتند که ۳۳/۲۳ درصد کاهش در عملکرد بوته‌های نخود تحت شرایط تنش ملایم رطوبتی در خاک (۳۵ تا ۴۰ درصد حد ظرفیت زراعی) به‌دست آمد. بااین‌حال، کوربو و همکاران (Korbu *et al.*, 2022) گزارش کردند که تحت تنش شدید رطوبتی در خاک، عملکرد نخود بیش از ۷۰ درصد کاهش می‌یابد. در تمامی شرایط آبیاری با افزایش تراکم خردل وحشی، از عملکرد دانه نخود کاسته شد. بیشترین کاهش در عملکرد دانه مربوط به ۹۰ درصد تخلیه رطوبتی در خاک بود که در بالاترین تراکم خردل وحشی به یک سوم شاهد رسید. این در حالی بود که در شرایط حد ظرفیت زراعی با افزایش تراکم خردل وحشی به ۱۵ بوته در مترمربع، عملکرد دانه به یک‌دوم شاهد تقلیل یافت (جدول ۶). تنش کم‌آبی موجب کاهش رطوبت در خاک شده و در نتیجه آن جوانه‌های گل تحت تأثیر این تنش قرار گرفته و ریزش گل در آن‌ها رخ می‌دهد که این ریزش موجب کاهش عملکرد دانه نیز می‌گردد (Courtney & Mullen, 2008). همچنین، تحت شرایط تنش رطوبتی در خاک، مرحله پر شدن دانه‌ها زودتر از موعد شروع شده و تعداد روزهای رسیدن به بلوغ فیزیولوژیکی کاهش می‌یابد که این امر موجب کاهش وزن دانه‌ها و در نهایت کاهش عملکرد دانه می‌گردد. عدم مهار علف‌های هرز موجب رقابت مؤثر آن‌ها با گیاه زراعی شده و به‌دلیل کاهش احتمالی کارآیی فتوسنتز، در نهایت عملکرد دانه تأثیر می‌پذیرد (Akbari *et al.*, 2011). حضور تراکم ۱۰ بوته در مترمربع از خردل وحشی در مزارع کلزا، عملکرد دانه آن را در حدود ۲۰ درصد کاهش داد، این درحالی بود که تراکم ۲۰ بوته در مترمربع این علف هرز، عملکرد دانه کلزا را بیش از ۳۶ درصد کاهش داد (Warwick *et al.*, 2000).

جدول ٦- اثرات متقابل سطوح مختلف آبیاری و تراکم خردل وحشی روی عملکرد بیولوژیکی، عملکرد دانه و شاخص برداشت نخود در شرایط مزرعه‌ای

Table 6. Interaction effects between different irrigation regimes and wild mustard density on a biological yield, seed yield and harvest index of chickpea (*Cicer arietinum* L.)

	Biological yield ($kg.ha^{-1}$)				Seed yield ($kg.ha^{-1}$)			Harvest index (%)		
Wild mustard density	**Field capacity**	**65% depletion of the water capacity**	**90% depletion of the water capacity**	**Wild mustard density**	**Field capacity**	**65% depletion of the water capacity**	**90% depletion of the water capacity**	**Field capacity**	**65% depletion of the water capacity**	**90% depletion of the water capacity**
Control	6382.70 a*	3541 a	1940 a	Control	2349 a	1226.50 a	643.33 a	36.65 a	34.68 a	33.24 a
5 plants.m^{-2}	5925 a	2506.70 b	1510 ab	5 plants m^{-2}	1930.20 a	792.70 b	485.83 a	32.94 ab	31.60 ab	32.13 ab
10 plants.m^{-2}	4838.70 b	1825 c	1101.70 bc	10 plants m^{-2}	1286.50 b	521.50 bc	323.83 b	29.04 b	28.85 ab	29.89 ab
15 plants.m^{-2}	4558.30 b	1416 c	798.30 c	15 plants m^{-2}	1283.80 b	369.50 c	202.33 b	27.13 b	26.03 b	25.05 b
LSD 1%	967.48	653.85	629.29	LSD 5%	434.99	400.22	160.02	7.17	7.17	7.29

* میانگین‌های با حروف مشترک در هر ستون براساس آزمون LSD اختلاف معنی‌داری با یکدیگر در سطح احتمال پنج یا یک درصد ندارند.

* The means followed by the same letter in a column were not significantly different at $p \leq 0.05$ or $p \leq 0.01$ (LSD test).

مطالعات نشان داده‌اند که تنش کم‌آبی منجر به افزایش قدرت رقابتی علف‌های هرز در برابر گیاه زراعی می‌شود. بابایی و همکاران (Babaei *et al.*, 2016) گزارش کردند که عملکرد نسبی خلّر در رقابت با تاج خروس وحشی کمتر می‌باشد که بیانگر قدرت رقابتی علف هرز تاج خروس وحشی در شرایط تنش رطوبتی در خاک است. نراقی و همکاران (Naraghi *et al.*, 2022) نیز بیان داشتند که کمترین عملکرد دانه کینوآ (۱۳۹ گرم در مترمربع) تحت تنش شدید کم‌آبی و رقابت بوته‌های آن با علف‌های هرز در تمام طول فصل رشدی به‌دست می‌آید. نخود به‌دلیل سرعت رشد کند و سطح برگ محدود در مراحل اولیه رشدی، در مقابل علف‌های هرز رقیب ضعیفی است، به‌طوری‌که رشد سریع علف‌های هرز در ازای قدرت جذب آب و عناصر غذایی حتی در شرایط تنش رطوبتی در خاک موجب می‌شود که در صورت عدم مهار آن‌ها، با افزایش سطح برگ و ماده خشک به‌راحتی بر بوته‌های نخود غلبه نمایند (Sadidi & Armin, 2015). در این مطالعه، تنش کم‌آبی و حضور بوته‌های علف هرز خردل وحشی در تراکم بالا موجب کاهش عملکرد دانه در نخود گردید که می‌تواند به‌دلیل کاهش کارآیی فتوسنتز در شرایط بروز و تداوم تنش کم‌آبی و نیز رقابت علف هرز خردل وحشی به‌خصوص در مراحل حساس فنولوژیکی گیاه نظیر گل‌دهی و دانه‌بندی باشد.

شاخص برداشت

اثرات متقابل تنش کم‌آبی و تراکم خردل وحشی بر شاخص برداشت نخود در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار بود (جدول ۴). نتایج نشان داد که بیشترین شاخص برداشت در تمامی شرایط آبیاری مربوط به شاهد بدون علف هرز و تراکم‌های پایین علف هرز و کمترین شاخص برداشت مربوط به تراکم بالای علف هرز خردل وحشی (۱۵ بوته در مترمربع) بود (جدول ۶). اعمال تنش کم‌آبی موجب پیری زودهنگام برگ‌ها شده و از مرحله گل‌دهی تا شروع مرحله رشد غلاف، بر عملکرد دانه نخود تأثیر گذاشته و سبب کاهش تعداد برگ می‌گردد (Boote *et al.*, 1995). فراهمی رطوبت تأثیر مثبتی بر فتوسنتز جاری دارد و تنش‌هایی که در محیط رشد گیاه وجود دارند، می‌توانند بر اختصاص مواد فتوسنتزی به قسمت‌های مختلف گیاه تأثیر داشته باشند. وقوع این تنش‌ها عمدتاً در اختصاص مواد به اندام‌های زایشی اثرگذار بوده و عملکرد دانه نسبت به عملکرد بیولوژیک را بیشتر کاهش می‌دهند. ازاین¬رو، به‌دلیل کمبود آب لازم برای فتوسنتز و در نتیجه کاهش ساخت‌وساز مواد فتوسنتزی، وزن دانه‌ها بیشتر از وزن خشک بوته کاهش یافته و متعاقب آن، شاخص برداشت در گیاه کاهش می‌یابد (Abdeshahian *et al.*, 2014). نتایج این مطالعه نیز نشان داد که شرایط تنش کم‌آبی و رقابت علف‌های هرز موجب کاهش شاخص برداشت در نخود می‌گردد که احتمال می‌رود این امر به‌دلیل حساسیت عملکرد دانه بیش از عملکرد بیولوژیک باشد. محمدی و همکاران (Mohammadi *et al.*, 2004) بیان داشتند که شاخص برداشت نخود در تیمار آلوده به علف‌های هرز در کل فصل رشدی در مقایسه با شاهد ۴۲/۸ درصد کاهش می‌یابد و کاهش آن در نخود را به تأثیر سوء علف‌های هرز بر تعداد شاخه‌های بارور و اجزاء عملکرد به‌ویژه تعداد غلاف در بوته و وزن دانه‌ها در نخود مرتبط دانستند. در شرایط رقابت با علف هرز، منابع در دسترس گیاه کاهش یافته و گیاه زراعی لزوماً جهت افزایش سطح و حجم ریشه‌ها در دسترسی بیشتر به آب و عناصر غذایی، مواد فتوسنتزی بیشتری را به اندام‌های زیرزمینی منتقل می‌کند. بنابراین، در زمان رشد زایشی، عملکرد بیولوژیک و دانه گیاه کاهش می‌یابند و این کاهش بیشتر در تعداد و وزن دانه‌ها اتفاق می‌افتد. این امر نشان می‌دهد که وقوع تنش‌های مختلف به‌خصوص در زمان گل‌دهی و پر شدن دانه‌ها می‌تواند تأثیر بسیار قابل ملاحظه‌ای بر عملکرد دانه در مقایسه با عملکرد بیولوژیک و در نهایت، شاخص برداشت در گیاهان زراعی داشته باشد.

نتیجه‌گیری

نتایج این پژوهش نشان داد که تنش کم‌آبی و افزایش تراکم علف هرز خردل وحشی به‌طور معنی‌داری موجب کاهش مقادیر صفات اندازه‌گیری شده در نخود شدند. عملکرد دانه نخود در شرایط تنش کم‌آبی و رقابت خردل وحشی به‌خصوص در تراکم‌های بالا کاهش یافت که دلیل عمده آن می‌تواند کاهش کارآیی جذب منابع محیطی با رقابت مؤثر علف هرز جهت کسب نور، آب، عناصر غذایی و حتی دی‌اکسیدکربن در تراکم‌های بالا در طول فصل رشدی به‌خصوص در زمان گل‌دهی و دانه‌بندی باشد که می‌تواند منجر به کاهش تعداد غلاف در دانه، تعداد دانه در غلاف، وزن ۱۰۰ دانه و در نهایت، کاهش عملکرد دانه نخود گردد. به نظر می‌رسد که با توجه به فشاری که بر بوته‌های خردل وحشی در شرایط تنش رطوبتی در خاک وارد می‌شود، از شدت رقابت خردل وحشی کاسته شد. بااین‌حال، به‌دلیل سازگاری بیشتر خردل وحشی به شرایط تنش‌زا از جمله تنش کم‌آبی و شرایط رقابتی و ساختار ژنومی گسترده‌تر آن، بوته‌های این علف‌هرز توانستند با جذب بیشتر آب و عناصر غذایی نسبت به بوته‌های نخود و در ادامه با سایه‌اندازی بر آن‌ها موجب کاهش قابل توجه عملکرد و اجزاء آن حتی در شرایط تنش رطوبتی در خاک شوند. ازاین¬رو، با توجه به خسارت‌هایی که علف‌هرز خردل وحشی به نخود در بررسی ویژگی‌های مورفولوژیک و عملکرد و اجزاء آن تحمیل می‌کند، باید اقدامات کنترلی مناسبی را تحت شرایط بروز تنش کم‌آبی حتی در تراکم‌های پایین علف‌هرزی بر علیه آن اتخاذ

نمود تا از کاهش محسوس عملکرد آن جلوگیری به‌عمل آید.

سپاسگزاری

بدین‌وسیله از همکاری گروه زراعت و اصلاح نباتـات و مسـئولین محترم دانشکده کشاورزی دانشـگاه شـهید مـدنی آذربایجـان کـه در اجرای این تحقیق کمال همکاری را داشتند، صمیمانه قـدردانی مـی-گردد.

References

1. Abdeshahian, M., Nabipour, M., Kashani, A., Mesgarbashi, M., & Rahdarian, S. (2014). Evaluation of SLA and SLW changes in wheat plants under water stress. In *13th Iranian Crop Science Congress and 3rd Iranian Seed Science and Technology Conference*, Aug. 1-5, 2014, Karaj, Iran. (in Persian)
2. Abasluo, L., Kazemeini, S.A., & Edalat, M. (2014). Effects of drought stress and planting methods on yield and yield components of two chickpea (*Cicer arietinum* L.) cultivars. *Iranian Journal of Pulses Research*, *5*(1), 79-90. (in Persian with English abstract). https://doi.org/10.22067/IJPR.V1393I1.46203
3. Akbari, A., Zand, E., & Mousavi, K. (2011). Evaluation the effect of row space and weed management approaches on biomass, chickpea (*Cicer arietinum* L.) yield, and yield components in Khorramabad dryland conditions. *Crop Production*, *3*(3), 1-21. (in Persian with English abstract)
4. Anafjeh, Z., Bakhshandeh, A.M., Chaab, A.N., Ebrahimpour, F., & Zand, E. (2010). Evolution of various wild mustard densities on some quality parameters and yield of canola. *Journal of Plant Production Science*, *2*(5), 29-41. (in Persian with English abstract)
5. Babaei, M.J., Jami Al-Ahmadi, M., Zamani, G.R., & Golestanifar, F. (2016). Competition between grass pea (*Lathyrus sativus* L.) and pigweed (*Amaranthus retroflexus* L.) under deficit water stress condition. *Environmental Stresses in Crop Sciences*, *8*(2), 179-189. (in Persian with English abstract). https://doi.org/10.22077/escs.2016.214
6. Behdarvandi, B., Fathi, G., Siadat, A., & Madhaj, A. (2006). Integrated control (mechanical and chemical) of rapeseed weeds in the environmental conditions of Khuzestan. In *9th Iranian Crop Science Congress*, 6-10 Aug., Tehran, Iran. (in Persian)
7. Boote, K.J., Schubert, A.A., Stansell, J.R., & Stone, J.F. (1995). Irrigation, water use and water relation. *Critical Reviews in Plant Sciences*, *5*, 164-205
8. Courtney, R.G., & Mullen, G. (2008). Soil quality and barley growth as influenced by the land application of two compost types. *Journal of Bioresource Technology*, *99*, 2913-2918. https://doi.org/10.1016/j.biortech.2007.06.034
9. Dhima, K., & Eleftherohorinos, I. (2005). Wild mustard (*Sinapis arvensis* L.) competition with three winter cereals as affected by nitrogen supply. *Journal of Agronomy and Crop Science*, *191*(4), 241-248. https://doi.org/10.1111/j.1439-037X.2005.00152.x
10. Fallahi, A., Ahmadvand, G., Mondani, F., & Aliverdi, A. (2021). Response of yield components of rainfed chickpea cultivars (*Cicer arietinum* L.) to plant density and weed interference. *Iranian Journal of Pulses Research*, *12*(1), 41-57. (in Persian with English abstract). https://doi.org/10.22067/IJPR.V12I1.74983
11. FAOSTAT. (2022). *Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO)*. FAOSTAT database for agriculture. http://fao.org/faostat/en/#data/QCL (accessed 01 April 2022).
12. Habibpour Kashefi, E., Gharineh, M.H., Shafeinia, A.R., & Roozrokh, M. (2017). Effect of different levels of zeolite on yield of red bean (*Phaseolus vulgaris* L.) under drought stress in Kermanshah climate condition. *Plant Production Technology*, *9*(1), 141-151. (in Persian with English abstract). https://doi.org/10.22084/PPT.2017.2209
13. Heshmatnia, M., & Armin, M. (2016). Effects of weed interference duration on yield and yield components of chickpea (*Cicer arietinum*) in two different production system. *Crop Production*, *9*(1), 25-47. (in Persian with English abstract). https://doi.org/10.22069/EJCP.2016.2955
14. Hussain, S., Khaliq, A., Matloob, A., Fahad, S., & Tanveer, A. (2015). Interference and economic threshold level of little seed canary grass in wheat under different sowing times. *Environmental Science and Pollution Research*, *22*(1), 441-449. https://doi.org/10.1007/s11356-014-3304-y
15. Jukanti, A., Gaur, P., Gowda, C., & Chibbar, R. (2012). Nutritional quality and health benefits of chickpea (*Cicer arietinum* L.): A review. *British Journal of Nutrition*, *108*, S11-S26. https://doi.org/10.1017/S0007114512000797
16. Kaykhazaleh, M., Ramroudi, M., Galavi, M., Ghanbari, A., & Fanayi, H.R. (2022). Effect of drought stress on some morphophysiological traits and yield of safflower (*Carthamus tinctorious* L.) in response to use of potassium. *Journal of Crops Improvement*, *24*(4), 1133-1145. (in Persian with English abstract). https://doi.org/10.22059/jci.2022.330328.2610
17. Korbu, L., Fikre, A., Tesfaye, K., Funga, A., Bekele, D., & Ojiewo, C.O. (2022). Response of chickpea to varying moisture stress conditions in Ethiopia. *Agrosystems, Geosciences and Environment*, *5*(1), e20234. https://doi.org/10.1002/agg2.20234
18. Mahé, I., Chauvel, B., Colbach, N., Cordeau, S., Gfeller, A., Reiss, A., & Moreau, D. (2022). Deciphering field-based evidences for crop allelopathy in weed regulation. A review. *Agronomy for Sustainable Development*, *42*(3), 1-20. https://doi.org/10.1007/s13593-021-00749-1

19. Malek Maleki, F., Majnoun Hosseini, N., & Alizadeh, H. (2013). A survey on the effects of weed control treatments and plant density on lentil growth and yield. *Electronic Journal of Crop Production*, *6*(2), 135-148. (in Persian with English abstract)
20. Mirakhori, M., Paknejad, F., Moradi, F., Ardakani, M.R., Zahedi, H., & Nazeri, P. (2009). Effect of drought stress and methanol on yield and yield components of soybean max (L 17). *American Journal of Biochemistry and Biotechnology*, *5*(4), 162-169. https://doi.org/10.3844/ajbbsp.2009.162.169
21. Mohammadi, G.R., Javanshir, A., Rahimzadeh-Khoie, F., Mohammadi, A., & Zehtab-Salmasi, S. (2004). The effect of weed interference on shoot and root growth and harvest index in chickpea. *Iranian Journal of Crop Sciences*, *6*(3), 181-191. (in Persian with English abstract)
22. Molden, D., Murry-Rust, H., Sakthivandival, R., & Makin, I. (2001). A water productivity framework for understanding and action. Workshop on Water Productivity. Wadduwe, Sri Lanka, 12-13. https://doi.org/10.1079/9780851996691.0001
23. Naderi, R., & Ghadiri, H. (2009). Competition of different densities of wild mustard (*Brassica kaber*) and rapeseed (*Brassica napus*) in greenhouse. *Desert*, *14*, 151-155. https://doi.org/10.22059/JDESERT.2009.36335
24. Naraghi, M., Majnoun Hosseini, N., Oveisi, M., Rahimian Mashhadi, H., & Bagheri, M. (2022). Modelling the effects of drought stress and weeds competition on quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) yield. *Iranian Journal of Field Crop Science*, *53*(3), 17-29. (in Persian with English abstract). https://doi.org/10.22059/IJFCS.2021.326750.654841
25. Nosratti, I., Sabeti, P., Chaghamirzaee, G., & Heidari, H. (2020). Weed problems, challenges, and opportunities in Iran. *Crop Protection*, *134*, 104371. https://doi.org/10.1016/j.cropro.2017.10.007
26. Oerke E. (2006). Crop losses to pests. *The Journal of Agricultural Science*, *144*, 31–43. https://doi.org/10.1017/S0021859605005708
27. Rani, A., Devi, P., Jha, U.C., Sharma, K.D., Siddique, K.H., & Nayyar, H. (2020). Developing climate-resilient chickpea involving physiological and molecular approaches with a focus on temperature and drought stresses. *Frontiers in Plant Science*, *10*, 1759. https://doi.org/10.3389/fpls.2019.01759
28. Ratnam, M., Rao, A., & Reddy, T. (2011). Integrated weed management in chickpea (*Cicer arietinum* L.). *Indian Journal of Weed Science*, *43*, 70-72.
29. Rezvani, H., Asgari, J., Ehteshami, M.R., & Kamkar, B. (2019). Effect of different densities of wild mustard (*Sinapis arvensis*) on the growth indices of wheat (*Triticum aestivum* L.) cultivars in Gorgan. *Applied Research in Field Crops*, *32*(2), 42-59. (in Persian with English abstract). https://doi.org/10.22092/AJ.2019.122380.1317
30. Sachdeva, S., Bharadwaj, C., Siddanagouda Patil, B., Pal, M., Roorkiwal, M., & Varshney, R.K. (2022). Agronomic performance of chickpea affected by drought stress at different growth stages. *Agronomy*, *12*, 995. https://doi.org/10.3390/agronomy12050995
31. Sadidi, A., & Armin, M. (2015). The effect of competition period on yield and yield components of chickpea in conventional and dormant sowing conditions. *Journal of Crop Production Research*, *7*(3), 223-237. (in Persian with English abstract)
32. Safahani Langeroudi, A.R., Kamkar, B., Zand, E., Bagherani, N., & Bagheri, M. (2008). Reaction of grain yield and its components of canola (*Brassica napus* L.) cultivars in competition with wild mustard (*Sinapis arvensis* L.) in Gorgan. *Iranian Journal of Crop Sciences*, *9*(4), 356-370. (in Persian with English abstract)
33. Selvakumar, G., Panneerselvam, P., & Ganeshamurthy, A.N. (2012). Bacterial Mediated Alleviation of Abiotic Stress in Crops. p. 205–224. In: D.K. Maheshwari, (Ed.), *Bacteria in Agrobiology: Stress Management*. Springer Berlin, Heidelberg. https://doi.org/10.1007/978-3-642-23465-1_10
34. Serim, A.T. (2021). Economic threshold of wild mustard (*Sinapis arvensis L.*) in safflower (*Carthamus Tinctoreus L.*). *Fresenius Environmental Bulletin*, *30*, 4477-4485.
35. Seyedi, M., & Hamzei, J. (2021). Evaluation of yield components, yield and competitive power of chickpea cultivars under weed interference. *Iranian Journal of Pulses Research*, *12*(1), 100-110. (in Persian with English abstract). https://doi.org/10.22067/IJPR.V12I1.84964
36. Shaban, M., Mansourifar, S., Ghobadi, M., & Ashrafi Parchin, R. (2012). Effect of drought stress and starter nitrogen fertilizer on root characteristics and seed yield of four chickpea (*Cicer arietinum* L.) genotypes. *Seed and Plant Production*, *27*(4), 451-470. (in Persian with English abstract). https://doi.org/10.22092/SPPJ.2017.110448
37. Siddique, K.H.M., Regan, K.L., Tennant, D., & Thomson, B.D. (2001). Water use and water use efficiency of cool season grain legumes in low rainfall Mediterranean-type environments. *European Journal of Agronomy*, *15*(4), 267-280. https://doi.org/10.1016/S1161-0301(01)00106-X
38. Siyahpoosh, A., Zand, E., Bakhshande, A., & Gharineh, M.H. (2012). Competitiveness of different densities of two wheat cultivars with wild mustard weed species (*Sinapis arvensis*) in different densities. *Weed Applied Science*, *20*(5), 748-752. https://doi.org/10.5829/idosi.wasj.2012.20.05.2248
39. Varshney, R.K., Thudi, M., Nayak, S.N., Gaur, P.M., Kashiwagi, J., Krishnamurthy, L., Jaganathan, D., Koppolu, J., Bohra, A., Tripathi, S., Rathore, A., Jukanti, A.K., Jayalakshmi, V., Vemula, A., Singh, S.J., Yasin, M., Sheshshayee, M.S., & Viswanatha, K.P. (2014). Genetic dissection of drought tolerance in chickpea (*Cicer arietinum* L.). *Theoretical and Applied Genetics*, *127*, 445-462. https://doi.org/10.1007/s00122-013-2230-6
40. Wall, D.A. (1993). Wild mustard (*Sinapis arvensis* L.) competition with navy beans. *Canadian Journal of Plant*

Science, *73*, 1309-1313. https://doi.org/10.4141/cjps93-170

41. Warwick, S.I., Beckie, H.J., Thomas, A.G., & McDonald, T. (2000). The biology of Canadian weeds. 8. *Sinapis arvensis* L. *Canadian Journal Plant Science*, *80*(4), 939-961. https://doi.org/10.4141/P99-139
42. Zabet, M., & Hosseinzadeh, A.H. (2011). Determination of the most effective traits on yield in mung bean (*Vigna radiata* L. wilczek) by multivariate analysis in stress and non-stress conditions. *Iranian Journal of Pulses Research*, *2*(1), 87-98. (in Persian with English abstract). https://doi.org/10.22067/ijpr.v2i1.12020
43. Zimdahl, R.L. (2007). *Weed-Crop Competition, A Review*. International Plant Protection Center (2nd Ed.). Oregon State University, USA.